

文章编号: 1001-1749(2023)05-0654-09

深部铁铜矿勘探的地球物理勘查模型研究

——以河南卢氏八宝山铁铜矿床为例

朱彦彦^{1,2}, 张景业^{1,2}, 杨秋玲^{1,2}, 王亚伟^{1,2}, 刘晓毅^{1,2}, 王飞飞^{1,2}

(1. 河南省地质矿产勘查开发局 第一地质矿产调查院, 洛阳 471023;

2. 河南省金银多金属成矿系列与深部预测重点实验室, 洛阳 471023)

摘要: 为建立深部铁铜矿勘探地球物理模型,以河南省卢氏县八宝山铁铜矿床为例,在合理的成矿预测模型指导下,采用高精度磁测、激电中梯、可控源音频大地电磁测深(CSAMT)等多种综合地球物理方法,对八宝山矿床的深部三维特征和外围区域的含矿性进行初步评价,并通过钻探进行成矿规律的验证。以成矿预测模型为指导,采用综合地球物理勘查对有利成矿部位进行精准刻画,通过钻探对该模型的有效性和可行性进行验证,建立本成矿类型的地球物理勘查模型。

关键词: 高精度磁测; 激电中梯; CSAMT; 八宝山铁铜矿; 地球物理勘查模型

中图分类号: P 631.3 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-1749.2023.05.12

0 引言

随着我国矿业开发的高速发展和矿产勘查工作程度的提高,矿产勘查领域逐步从地表矿、浅部矿向深部矿、隐伏矿转变,勘查理论和勘查方法也发生了巨大的变化。针对深部隐伏矿床的找矿预测理论,自 20 世纪 80 年代以来,形成了系列矿产预测理论,王世称等^[1]提出的“综合信息预测方法技术”;赵鹏大^[2]提出的“三联式”数字找矿与定量预测评价矿产预测理论方法;陈毓川等^[3]提出的“缺位预测”理论;叶天竺等^[4]提出的“固体矿产矿床模型综合地质信息预测技术”,在我国矿产资源勘查评价中发挥了重要作用。在区域性基础地质资料和矿点、矿化点线索选区的基础上,采用大比例地质填图和物化探技术解决勘查区隐伏矿、深部矿的找矿难题,建立中深

部地球物理勘查模型,是目前勘查区找矿勘查程序的重要步骤之一。

卢氏县八宝山铁铜矿区位于河南省卢氏县潘河乡,自 20 世纪 60 年代,相关单位在八宝山地区开展了铁、铜、金等多金属的矿产勘查工作,提交了铁铜金资源量,并陆续开展了采矿工作,采矿历史悠久。该地区位于华北克拉通南缘,紧邻秦岭造山带,属卢氏—栾川陆缘褶断带。八宝山铁铜矿床是东秦岭钼多金属成矿带上典型的中生代斑岩—矽卡岩型矿床,以铁矿化为主,伴随铜、钼、铅锌矿化。与燕山期中酸性斑岩体有关的内生矿床是区域矿产勘查的重要目标和找矿方向^[5-7],在区域上银家沟矿床等也开展了类似研究^[8-9]。笔者以卢氏八宝山铁铜矿为研究对象,采用高精度磁测、CSAMT、激电中梯等多种技术方法,对该区深部及外围进行初步评价,建立斑岩—矽卡岩型铁铜矿中深部地球物理勘查

收稿日期: 2023-01-30

基金项目: 河南省国土资源厅地质勘查基金项目(豫国土资发[2014]75 号,[2016]46 号,[2018]22 号)

第一作者: 朱彦彦(1985—),女,硕士,工程师,主要从事地球物理勘查和三维地质建模研究方向,E-mail:zhuyanyan202112@163.com。

通信作者: 张景业(1983—),男,硕士,高级工程师,主要从事地球物理勘查工作,E-mail:zjy2510@126.com。

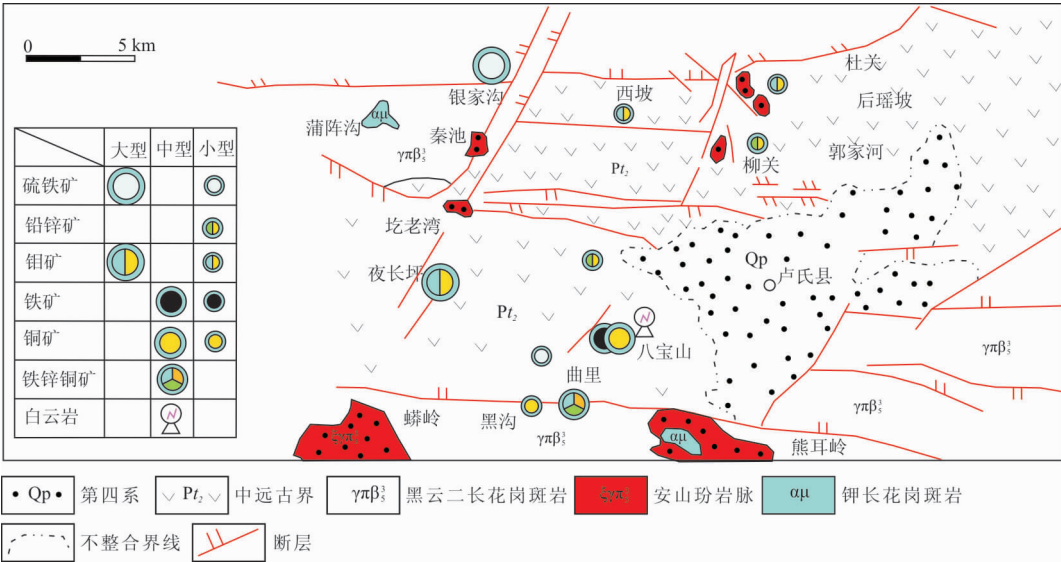


图 1 区域地质矿产分布图

Fig. 1 Regional geological and mineral distribution map

模型。

1 地质背景

1.1 区域成矿地质特征

工作区位于华北克拉通南缘,太古宇太华群变质岩系构成结晶基底,盖层为中元古界熊耳群、中元古界官道口群、新元古界栾川群、震旦系、下寒武统、局部为二叠系和三叠系。地层分属秦岭地层区和华北地层区,区域上以黑沟—栾川断裂为分界线,断裂北部为华北地层区豫西地层分区熊耳山地层小区,断裂南部为秦岭地层区北秦岭地层分区南召小区、卢氏盆地及第四系沉积。区内断裂构造极其发育,以东西向数条大型断裂为主,辅以北北东向断裂,构造运动以侧向拉张和区域性差异升降作用为主。区内比较重要的断裂为黑沟—栾川断裂带、马超营断裂带、撞根—头道河断裂带,这些大型断裂带内侵入岩发育,动力变质及热液蚀变强烈,岩浆及热液活动明显,对铁、锌、铜、金、铅、银、钼等矿化具有明显地控制作用。

工作区位于小秦岭—豫西金钼多金属成矿带,杜关—夜长坪成矿远景区东部的八宝山—杜关岩浆岩成矿亚带。区域矿产分布主要受大型断裂及次级断裂构造控制,以卢氏—栾川陆缘褶皱断带为主要成矿区域,具有明显的方向性。燕山期中酸性侵入岩体构成了区域成矿的主要物质来源和容矿空间,与成矿作用关系密切,如银家沟岩体、夜长坪岩体、八

宝山岩体、曲里岩体、柳关岩体等均形成典型的矿床。区域矿种类型多样,铅锌银矿分布于卢氏—栾川多金属成矿带中,矿床(点)主要分布在官道口群、栾川群碳酸盐岩—碎屑岩为主的地层中,受岩性、断裂、燕山期中酸性小岩体的多重控制,矿床类型以层控型及热液充填(交代)型为主;钼矿分布于杜关—夜长坪成矿带;铁矿可分为矽卡岩型、热液脉型和沉积变质型三种成因类型;铜矿主要分布于柳关—八宝山一带,规模多为中小型(图 1)。

1.2 区域地球物理特征

1.2.1 区域重力场特征

区域重力异常特征总体表现为异常幅度南北高中间低,低值区沿徐家湾、汤河、庙子一带分布。布格重力异常等值线展布方向及局部重力异常轴向以北西西向为主,北东向次之,与北西西向区域构造线及叠加的北东向构造特征基本一致。重力高异常大多对应于基底地层的相对隆起,重力低异常主要为中生代断陷盆地或隐伏一半隐伏酸性岩体所致,如卢氏盆地在区域重力异常图上呈现为低值圈闭(图 2(a))。

1.2.2 区域磁场特征

区域上,北部华北陆块南缘和南部秦岭造山带的磁场特征差异明显,一般以黑沟—栾川断裂为界。华北陆块南缘为正负磁异常过渡带,磁场较为平缓,异常面积大,反映了华北陆块南缘崤山—熊耳山地块、卢氏—栾川陆缘褶皱带的火山岩与岩浆活动的状况以及古老地层基底隆起,如卢氏盆地,新生界厚

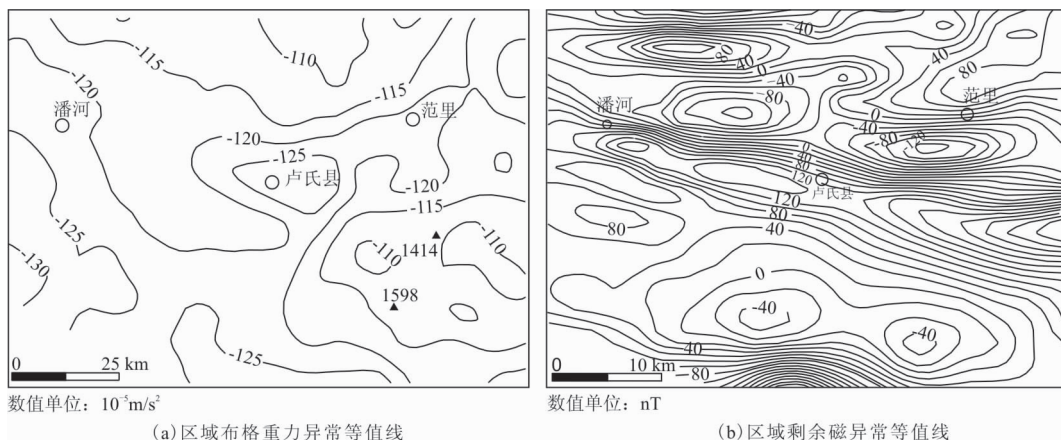


图2 区域重力场、磁场特征图

Fig. 2 The characteristic map of regional magnetic field and gravity field

度薄,磁场受熊耳群火山岩与基底断裂的影响明显,形成明显的低磁异常圈闭。南部秦岭造山带磁场幅值变化较大,正负磁异常规律性不明显,正磁场强度一般为 100 nT~260 nT,局部最大值为 1 300 nT,负磁场强度多在 0 nT~-200 nT,局部最小值达-800 nT。整体上看,区域正负磁异常范围与区域性断裂分布形态关系密切,多呈北西或北西西向带状展布,其长轴方向与区域构造线基本一致(图 2(b))。

1.2.3 区域岩石物性特征

磁性强弱以火山喷发岩—岩浆侵入岩—变质岩—沉积岩的顺序递减,火山岩以超基性—基性—中性—酸性—碱性岩的顺序递减。铁矿石的磁性则按磁铁矿—铬铁矿—镜铁磁铁矿—磁黄铁矿—赤铁矿—镜铁矿—黄铁矿—褐铁矿的顺序递减。区域上岩石电性差异明显,强矿化矿石如强黄铁矿化弱硅化矿石、弱黄铁矿化弱铅锌矿化矿石等,视电阻率平均值为 $550 \Omega \cdot \text{m}$,视极化率平均值为 9.9%;中等矿化矿石,如黄铁矿化硅化矿石,视电阻率平均值为 $2\,471 \Omega \cdot \text{m}$,视极化率平均值为 27.06%;弱矿化矿石,如弱黄铁矿化、弱褐铁矿化矿石等,视电阻率平均值为 $4\,981 \Omega \cdot \text{m}$,视极化率平均值为 4.0%;围岩如安山岩、花岗岩、片麻岩、石英脉等,视电阻率平均值为 $4\,961 \Omega \cdot \text{m}$,视极化率平均值为 1.2%。受矿化蚀变作用的各类岩石因含金属硫化物而形成低阻高极化体,与高阻低极化的未蚀变原岩形成明显的导电性和激电特性差异。区内岩石密度范围值为 2.33 g/cm^3 (火山碎屑凝灰岩)~ 3.01 g/cm^3 (辉长岩),一般特征为火山岩的密度较侵入岩的密度高;基性、中性岩体密度较酸性岩高;变质岩的密度变化

较大,视其岩性而定。

2 矿区地质矿产特征及成矿预测模型

矿区地层分区属熊耳山地层小区,为一套中元古界至下古生界滨浅海相碳酸盐岩—碎屑岩沉积建造,中低级区域变质,整体呈近东西向展布。由北至南出露地层为新元古界栾川群白术沟组,中元古界官道口群龙家园组、巡检司组、杜关组、冯家湾组,新元古界栾川群煤窑沟组,下古生界陶湾岩群三岔口组、风脉庙组、秋木沟组。矿区内出露地层主要为龙家园组、秋木沟组,岩性以白云岩为主。

受多期次地质运动变形变质影响,区域构造复杂,褶皱、断裂发育,断裂主要走向近东西向、北北西向,倾向北北东,产状陡,沿走向及倾向呈波状,以压扭性为主,局部见张性碎裂岩。在八宝山岩体边缘水压裂隙尤其发育,以北西西向为主,其次为北东东向和北北东向,多组节理交叉发育,裂隙内硅化、多金属矿化强,常见辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、铅锌矿,局部见金、银矿化。

八宝山岩体为矿区出露的侵入岩体,位于后清河村周围,东西长约 2 km,北北东向最大宽度约 0.7 km,面积约 1.05 km^2 ,岩体属(晚侏罗世)燕山早期中酸性浅成小岩体,成岩年龄 $146 \pm 2 \text{ Ma}^{[10]}$ 。围岩为杜关组、冯家湾组白云岩,呈侵入接触,接触带强烈矽卡岩化。岩体与围岩接触带内倾呈喇叭状,600 m 标高以下接触带呈陡直筒状。岩相分为中心相黑云二长花岗斑岩和边缘相正长花岗斑岩(图 3)。根据八宝山岩体与矿体的空间位置关系,将主要矿体划分为南、北、西三个矿带,南、北矿带规模较大,

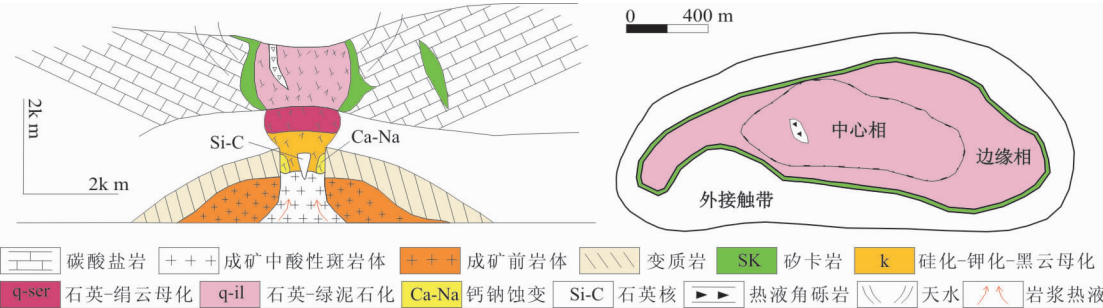


图 3 八宝山矿区成矿模型

Fig. 3 The metallogenic model of Babaoshan mining area

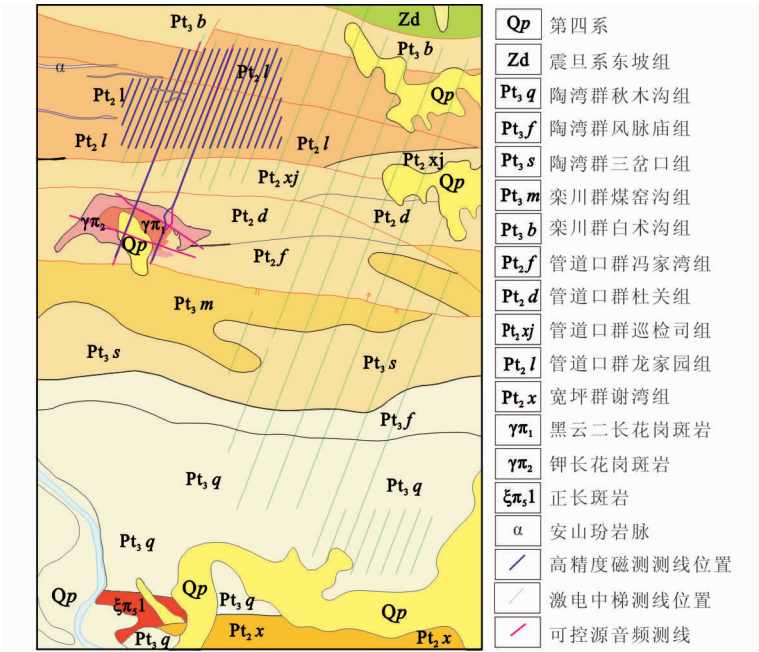


图 4 八宝山矿区及其外围综合地球物理勘查工程布置图

Fig. 4 Layout of Babaoshan mining area and its periphery comprehensive geophysical exploration project

构成矿床的主体。铁矿体是区内主要矿体,主体为褐铁矿,单工程 TFe 品位为 20.76%~52.05%,平均品位为 42.08%,以往工作共提交铁矿石量为 11 050 000 000 kg,占整个矿区铁总资源量的 46%;铜钼矿体主要赋存在北矿带钾化带内,矿体厚度为 1.02 m~109.87 m,平均厚为 32.28 m,单工程 Cu 品位为 0.23%~0.59%,平均品位为 0.46%,单工程 Mo 品位为 0.03%~0.201%,平均品位为 0.072%。

矽卡岩带内原生矿石为磁铁矿石、黄铁黄铜矿石、黄铁矿石;钾化带内原生矿石为细脉浸染型黄铜矿石、辉钼矿石及二者共伴生的铜钼矿;岩体外围原生矿石主要为铅锌(银)矿石。

秦克章等^[11]提出的斑岩—矽卡岩型成矿预测模型(图 3)对成矿岩体、成矿空间、蚀变类型等进行了详细说明,八宝山矿床作为典型的斑岩—矽卡岩型矿床,具有明显的分带性,由内向外分为:高中温斑岩型铜钼矿床分带,产于岩体边缘相钾化带,矿石类型主要为浸染型铜钼矿体;中温矽卡岩型铁铜矿床分带,产于矽卡岩带,矿石类型主要有铁矿、铜硫矿;中低温热液型铅锌矿床分带,产于岩体围岩裂隙,矿石类型主要为脉状、透镜状铅锌(银)矿。

3 综合地球物理勘查

在八宝山矿床成矿预测模型基础上,对成矿有

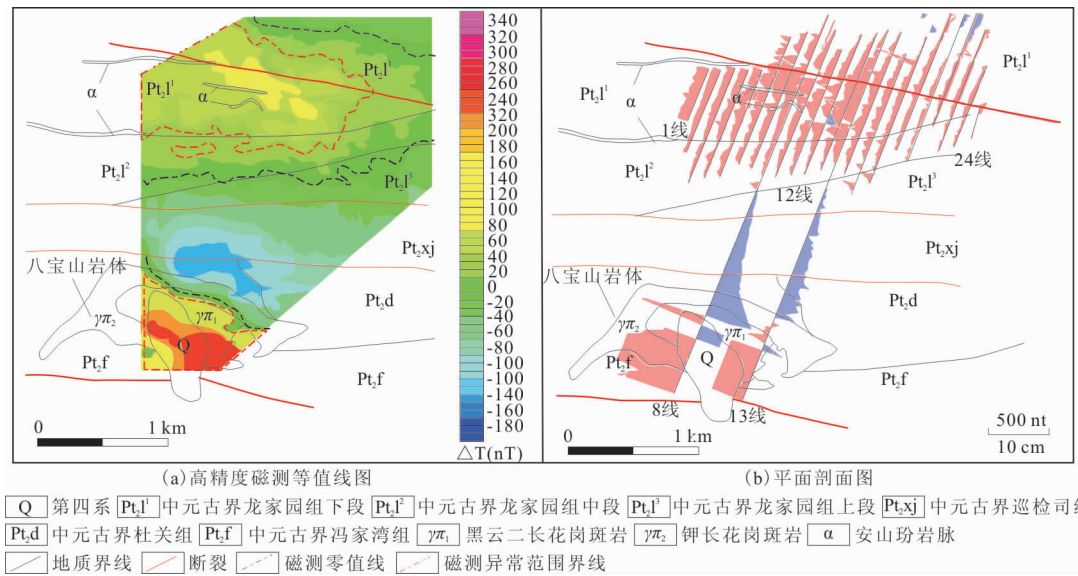


图 5 高精度磁测等值线图 and 平面剖面图

Fig. 5 High precision magnetic survey contour map and plane profile map

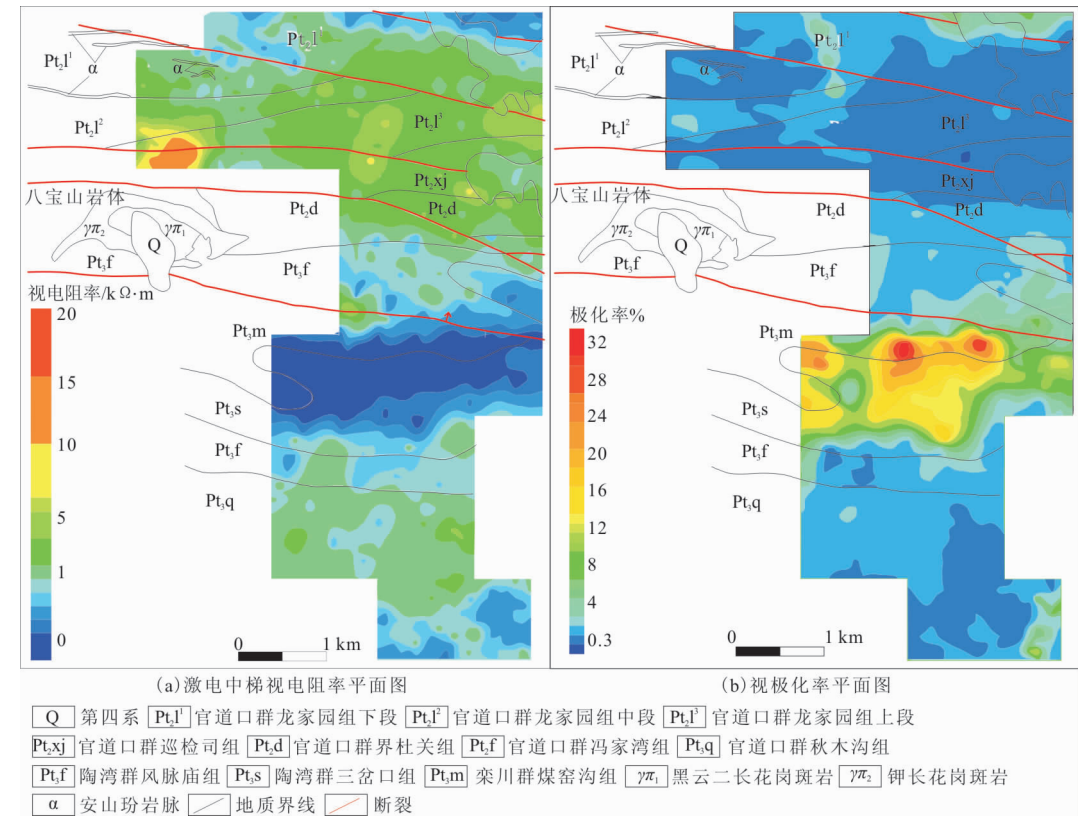


图 6 激电中梯视电阻率平面图 and 视极化率平面图

Fig. 6 Plan of apparent resistivity and apparent polarizability in induced polarization

利部位开展综合地球物理勘查工作(图 4)。本次综合地球物理勘查工作的主要思想是“就矿找矿”,对矿区深部找矿前景进行初步评价,研究成矿地质体和成矿结构面中深部延伸情况,间接为中深部矿体

勘查提供靶区位置;对矿区周边和近勘查提供靶区位置;对矿区周边和近外围矿化情况进行评价,通过筛选与矿区异常类似的矿外围矿化情况进行评价,通过筛选与矿区异常类似异常直接找矿,了解与矿区成

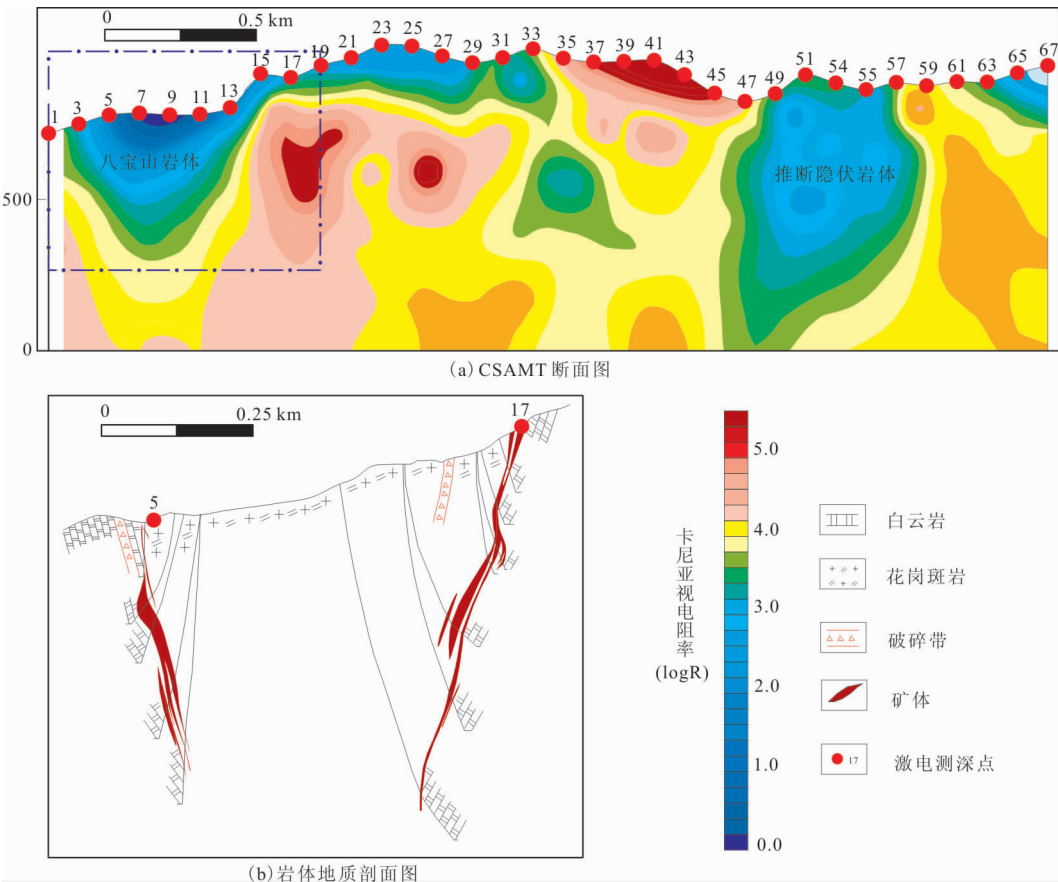


图 7 CSAMT 断面图及岩体地质剖面图
Fig. 7 The section of CSAMT and the geologic section

矿地质体和成矿结构面类似的地下地质结构的发育情况间接找矿,从而建立地球物理勘查模型^[12-15]。

3.1 高精度磁法测量

高精度磁法测量工作主要部署在八宝山岩体的北部,采用 WCZ-1 质子磁力仪,仪器分辨率为 0.1 nT。本次工作线距为 100 m,点距为 20 m,经统计总基点 T_0 值为 52 278.98 nT。根据《地面高精度磁测工作规程》(DZ/T 071-93)质量评价要求,本次磁测均方误差为 2.62,满足规范要求。统计 ΔT 平均值作为区内背景值,背景值加上 5 倍均方误差作为异常下限,求取的异常下限为 40.09 nT,以此下限作为划分异常的依据。

整个测区范围划分三个异常区,C-1 异常区位于八宝山岩体北部,呈北西-南东向,异常 ΔT 相对强度大于 40.09 nT,整体位于 YM-27 航磁异常范围内,面积约 1.25 km²,西部未闭合,呈团状。C-2 异常区位于 C-3 异常的西南部,走向近东西,面积约 0.05 km²,C-3 异常区位于八宝山岩体范围内

(图 5(a))。通过对异常区的磁测数据进行化极、延拓等手段,C-1 和 C-3 异常区在向上延拓平面图上均呈现高磁异常,随深度增加其面积也逐渐增大。C-3 异常区为八宝山岩体的反应,推测 C-1 异常区可能为隐伏岩体的综合反映。

3.2 激电中梯测量

遵循从已知到未知的原则,通过高精度磁测工作,快速圈定可能的矿致异常区,以 C-3 异常区八宝山岩体为已知点,对岩体周围的含矿性进行初步评价。激电中梯测量工作部署在八宝山岩体的东部和北部,野外采集参数为施工主要参数 $AB=1\ 500\text{ m}$, $MN=40\text{ m}$,点距为 20 m,供电电压为 700 V,供电电流为 3 A~5 A,供电周期为 32 s,接收叠加次数 2,时间延迟 300 ms,第一子样宽度为 40 ms,正反向标准直流脉冲供电。以全区激电中梯视极化率平均值作为区内背景值,背景值加上 5 倍均方误差作为异常下限,求取的异常下限为 2.62%,以此下限作为划分异常的依据。在视电阻率平面图(图 6

(a))上,测区内整体呈现为相对高阻,最大值超过 $20\,000\ \Omega \cdot \text{m}$,仅在八宝山岩体南部断裂上盘,呈现为相对低阻,视电阻率值范围为 $10\ \Omega \cdot \text{m} \sim 200\ \Omega \cdot \text{m}$,其形态与断裂展布形态基本一致,其极化率为相对高值,和视电阻率低阻区形态基本一致。在高精度磁测圈定的异常区 C-1 内,视电阻率相对较高,平均约 $5\,000\ \Omega \cdot \text{m}$,极化率整体偏低(图 6(b)),一般低于 1%,推测该现象可能为高精度磁测推断的隐伏岩体埋藏较深,激电中梯测量不能满足查明该潜在隐伏岩体特征的要求。

3.3 CSAMT 测量

根据高精度磁测和激电中梯成果,采用 CSAMT 测量对已知的八宝山岩体深部三维特征进行初步探测,同时对高精度磁测圈定的 C-1 异常进行探测。可控源音频大地电磁法测量采用加拿大凤凰地球物理公司研制的 V8 网络化多功能电法测量系统。观测频率为 $0.125\ \text{Hz} \sim 9\,600\ \text{Hz}$,每频点观测周期为 40 s,全频段观测时间为 2 700 s,拐角频率为 2 200 Hz,最大发射电流为 2 A,收发距为 12 km,供电极距 $AB=2\,000\ \text{m}$,接收极距 $MN=100$,点距为 100 m。单个物理点的均方相对误差 M_i 及总均方相对误差, $M=0.038\ 9$ 。参与质量检查的频点为 200 个,总频点数为 5 300 个,质检比 3.8%;物理点 4 个,总物理点数 106 个,质检比 3.8%,满足规范要求。根据 CSAMT 视电阻率断面图(图 7(a)),CSAMT 测点 3 至 17 号点基本为八宝山岩体的南北边界点,岩体呈倒喇叭型,岩体视电阻率整体为低阻,围岩为高阻,自岩体中部至围岩视电阻率逐渐增大,视电阻率梯度带明显。在 CSAMT 测点 47 至 57 号点,高精度磁测 C-1 推测的隐伏岩体,埋深相对较大,断面上视电阻率形态与八宝山岩体视电阻率形态相似,浅部视电阻率值约 $5\,000\ \Omega \cdot \text{m}$,与覆盖层高阻白云岩地质信息吻合,与激电中梯工作中视电阻率值基本一致,也解释了激电中梯中高阻特征现象,综合上述分析,推测其为隐伏岩体的电性响应特征。通过 CSAMT 工作,基本查明了八宝山岩体的深部特征,相互验证了高精度磁测 C-1 异常推测的隐伏岩体,对该隐伏岩体的三维特征进行初步刻画。为了进一步查明八宝山岩体的深部特

征,对综合地球物理工作中圈定的岩体边界进行钻探施工,先后施工 11 个钻探,在岩体和围岩分界面上均钻遇矿体,与地球物理工作推测信息基本一致(图 7(b))。

4 地球物理模型的建立

八宝山矿床地质资料丰富,建立的成矿预测模型与实际情况吻合度高,是开展深部矿产勘查工作的前提。基于此,提出斑岩-矽卡岩型矿床深部铁铜矿勘探的地球物理模型。本次工作中首先准确识别本矿床为斑岩-矽卡岩型,采用合理的成矿预测地质模型,其次采用综合地球物理方法查明中深部成矿体系中成矿源、容矿构造、结构面、成矿作用标志等重要要素,解决实际工作中理论模型无法查明矿化体展布特征的难题,最后采用钻探方法验证地球物理勘查模型的可行性。

值得一提的是,在综合地球物理勘查工作中,选用适宜工作区的工作方法至关重要。高精度磁测和 CSAMT 方法在本次工作中效果较好,但是激电中梯工作受浅地表高阻覆盖层的影响,其探测深度受限,对隐伏岩体的探测效果不明显。

5 结论

笔者以八宝山铁铜矿区勘查为例,对多种地球物理方法工程成果进行分析研究,对数据进行有效解译,建立地球勘查模型,取得以下两点成果:

1)建立斑岩-矽卡岩型中深部铁铜矿勘探的地球物理模型;基于成矿地质模型理论,采用综合地球物理方法查明中深部成矿地质体的三维形态、范围、产状等空间特征,采用钻探方法验证地球物理勘查模型的可行性。

2)八宝山铁铜矿区为典型的矽卡岩型矿床,查明八宝山岩体的空间特征是为本区矿产勘查工作的前提,也是本区深部和外围矿产勘查的前提。研究该矿床的地球物理勘查模型对矿床的深部和外围探矿具有很好的指导意义,八宝山岩体北部的异常区(图 7)在多种地球物理方法中均有异常存在,其地球物理特征与八宝山岩体具有高度相似性,可作为后续

工作重点。

参考文献:

- [1] 王世称. 综合信息矿产预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- WANG S C. Theory and method of comprehensive information mineral prediction [M]. Beijing: Science Press, 2000. (In Chinese)
- [2] 赵鹏大. 矿产勘查理论与方法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006.
- ZHAO P D. Theory and method of mineral exploration [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2006. (In Chinese)
- [3] 陈毓川, 王登红, 朱裕生. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- CHEN Y C, WANG D H, ZHU Y S. Metallogenic system and regional metallogenic evaluation in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006. (In Chinese)
- [4] 叶天竺, 肖克炎, 成秋明, 等. 矿产定量预测方法[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- YE T Z, XIAO K Y, CHENG Q M, et al. Quantitative prediction method of mineral resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010. (In Chinese)
- [5] 马桂霞, 李维明. 豫西卢氏北部地区角砾岩的特征及其找矿意义[J]. 世界地质, 2006, 25(4): 363—365.
- MA G X, LI W M. Characteristics and prospecting significance of breccia in northern Lu's area, Western Henan Province[J]. World Geology, 2006, 25 (4) : 363—365. (In Chinese)
- [6] 肖中军, 孙卫志. 河南卢氏夜长坪钼钨矿床成矿条件及找矿远景分析[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(2): 141—148.
- XIAO Z J, SUN W Z. Metallogenic condition and prospecting prospect analysis of Yechangping molybdenum and tungsten deposit in Henan province[J]. Geological Survey and Research, 2007, 30(2): 141—148. (In Chinese)
- [7] 毛冰, 叶会寿, 李超, 等. 豫西夜长坪钼矿床辉钼矿铼—钨同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(06): 1069—1074.
- MAO B, YE H S, LI C, et al. Rhenium—osmium isotopic age of molybdenite in Yechangping molybdenum deposit, Western Henan province and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(06): 1069—1074. (In Chinese)
- [8] 颜正信, 孙卫志, 张年成, 等. 河南灵宝银家沟硫铁多金属矿床成矿地质条件及找矿方向[J]. 地质调查与研究, 2007, 30(2): 149—157.
- YAN Z X, SUN W Z, ZHANG N C, et al. Geological condition and prospecting direction of Yingjiagou pyrite polymetallic deposit in Lingbao, Henan province[J]. Geological Survey and Research, 2007, 30 (2) : 149—157. (In Chinese)
- [9] 李铁刚, 武广, 陈毓川, 等. 豫西银家沟杂岩体年代学、地球化学和岩石成因[J]. 岩石学报, 2013, 29(1): 46—66.
- LI T G, WU G, CHEN Y C, et al. Chronology, geochemistry and petrogenesis of the Yinjiagou complex in Western Henan province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(1): 46—66. (In Chinese)
- [10] 曾令君, 星玉才, 周栋, 等. 河南卢氏八宝山花岗斑岩 LA—ICP—MS 锆石 U—Pb 年龄和 Hf 同位素组成特征[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(1): 65—75.
- ZENG L J, XING Y C, ZHOU D, et al. LA—ICP—MS Zircon U—Pb Age and Hf isotopic composition of the Babaoshan granitic porphyry, Henan province[J]. Geotectonics and Metallogeny, 2013, 37 (1) : 65—75. (In Chinese)
- [11] 秦克章, 夏代祥, 李光明, 等. 西藏驱龙斑岩—矽卡岩铜钼矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- QIN K Z, XIA D X, LI G M, et al. Kyodervay—skarn Cu—Mo deposit in Xizang province [M]. Beijing: Science Press, 2014. (In Chinese)
- [12] 韩耀宗. 综合物探方法在拉拉铜矿深部隐伏矿体勘探中的应用研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- HAN Y Z. Application of comprehensive geophysical exploration method in deep concealed ore body exploration of Lala Copper mine [D]. Chengdu : Chengdu University of Technology, 2012. (In Chinese)
- [13] 黎海龙, 麦广田, 区小毅. 综合物探在探测深部隐伏岩体的应用实例—桥圩磁异常(桂 C—59—3)的综合解

释[J]. 矿产与地质, 2016, 30(3): 439—445.

LI H L, MAI G T, QU X Y. An application case of comprehensive geophysical exploration in detecting deep concealed rock mass — comprehensive interpretation of Qiaowei magnetic anomaly (GUI C—59—3) [J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30(3): 439—445. (In Chinese)

[14] 孟贵祥. 小热泉子铜矿区物探找矿效果及综合找矿模式[J]. 物探与化探, 2002, 26(1): 32—38.

MENG G X. Prospecting effect and comprehensive prospecting model of Xiaorequanzi copper deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 26(1): 32—38. (In Chinese)

[15] 杜瑞庆. 深部铁矿勘探的地球物理找矿模式研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.

DU R Q. Study on Geophysical prospecting Model of Deep Iron Ore Exploration[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013. (In Chinese)

Study on geophysical exploration model of deep iron copper deposit:
A case study of Babaoshan iron copper deposit in Henan province

ZHU Yanyan^{1,2}, ZHANG Jingye^{1,2}, YANG Qiuling^{1,2}, WANG Yawei^{1,2},
LIU Xiaoyi^{1,2}, WANG Feifei^{1,2}

(1. Institute of Geology and Mineral Resources of Henan Provincial Geology and
Mineral Exploration and Development Bureau, Luoyang 471023, China;

2. Key Laboratory of Gold—Silver Polymetallic Ore—forming Series and Deep Prediction, Luoyang 471023, China)

Abstract: In order to establish a geophysical model for deep iron—copper exploration, taking Babaoshan iron—copper deposit in Lushi County, Henan Province as an example, under the guidance of a reasonable metallogenic prediction model, a variety of comprehensive geophysical methods such as high—precision magnetic survey, excitation medium elevation, and controlled source audio magneto earth sounding (CSAMT) were adopted to conduct a preliminary evaluation of the deep three—dimensional characteristics of Babaoshan deposit and the ore—bearing properties of its peripheral areas. The metallogenic regularity is verified by drilling. In this paper, under the guidance of the metallogenic prediction model, the comprehensive geophysical exploration is adopted to depict the favorable metallogenic sites accurately, and the validity and feasibility of the model are verified by drilling so as to establish a geophysical exploration model for this type of mineralization.

Keywords: high—precision magnetic measurement; IP intermediate ladder; CSAMT; Babaoshan iron and copper mine; geophysical exploration model